

肌电图监测在儿童脊髓栓系松解术中的应用

王勇强 陈 民 王杭州

【摘要】 目的 探讨术中肌电图监测在儿童脊髓栓系松解术中的作用。**方法** 收集 2017 年 11 月至 2018 年 6 月由苏州大学附属儿童医院神经外科确诊为脊髓栓系并行栓系松解术的 61 例患儿作为研究对象,回顾性分析术中肌电图监测结果及术后随访结果。**结果** 61 患儿均完全松解栓系,肌电图监测下均辨别出 L5、S1、S2 神经根。1 例右下肢肌力 0 级患儿术中肌电图监测患侧肌电图较对侧明显低平,但可以使用诱发肌电记录;术中肌电图监测可以及时提示术者避免发生持续性过度牵拉引起的肌电反射;使用叉状双极探头探查粘连部位与神经根关联情况,辨别各神经根走向,明确 S2 位置。术后随访 3~11 个月,1 例患儿(脂肪瘤型)术后次日出现尿储留,经导尿 15 d 后恢复至术前,随访期间无症状加重患儿。19 例大小便功能异常患儿中 5 例改善,14 例无改变,无加重病例。11 例下肢功能障碍患儿中 9 例改善,2 例无变化,无加重病例。33 例脂肪瘤型脊髓栓系患儿术前脊髓直径/硬脊膜囊直径(CORD/SAC)为 (0.78 ± 0.03) ,术后 CORD/SAC 为 (0.41 ± 0.02) ,差异有统计学意义($t = 12.78, P < 0.001$)。**结论** 术中肌电图监测可以实时监测手术操作对神经的干扰情况,可以辨别神经根粘连情况及明确失活的神经根,减少手术操作对神经的损伤,最大可能地松解栓系。在脂肪瘤型脊髓栓系患儿手术中可最大程度切除脂肪瘤,有效降低 CORD/SAC 值,减少术后粘连。

【关键词】 脊髓栓系; 肌电图; 神经电生理监测; 儿童

Application of electromyogram monitoring during spinal cord loosening for tethered cord syndrome in children. Wang Yongqiang, Chen Min, Wang Hangzhou. Department of Neurosurgery, Affiliated Children's Hospital, Soochow University, Suzhou 215025. Corresponding author; Wang Hangzhou, Email: wanghangzhou@126.com

【Abstract】 Objective To explore the effect of electromyography (EMG) monitoring during spinal loosening for tethered cord syndrome (TCS) in children. **Methods** From November 2017 to June 2018, clinical data were reviewed for 61 children of tethered cord diagnosed neurosurgically. Intraoperative EMG monitoring was performed and postoperative follow-ups were conducted. **Results** The nerve roots of L5, S1 and S2 were identified by EMG monitoring. Affected side of one patient with a zero level of muscle strength of right lower extremity was significantly lower than that of opposite side. However, induced EMG recording could be used. During operation, it prompted the operator to avoid continuous over-stretch myoelectric reflex. Fork bipolar probe was employed for detecting the correlation between adhesion site and nerve roots and identifying the direction of each nerve root. The postoperative follow-up period was 3 to 11 months. Urinary retention occurred in one case (lipoma type), but recovered to the preoperative period after 14-day urinary catheterization. Among 19 cases of dyspraxia, the outcomes were improvement ($n = 5$) and no change/aggravation ($n = 14$); among 11 cases of lower limb dysfunction, improvement ($n = 9$) and no change/aggravation ($n = 2$). The ratio of CORD/SAC was (0.78 ± 0.03) before surgery and (0.41 ± 0.02) after surgery. And the difference was statistically significant ($t = 12.78, P < 0.001$). **Conclusion** Intraoperative EMG can monitor intraoperative nerve interference in real-time, identify nerve root adhesion, detect inactivated nerve root, reduce intraoperative nerve damage and release tethered cord.

【Key words】 Tethered Spinal Cord; Electromyograph; Neuroelectrophysiological Monitoring; Child

DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2018.12.010

作者单位:苏州大学附属儿童医院神经外科(江苏省苏州市, 215025)

通讯作者:王杭州, Email: wanghangzhou@126.com

脊髓栓系综合征(tethered spinal cord syndrome, TSCs)是指由于先天或后天原因引起脊髓末端回缩不良,马尾终丝被粘连、压迫,使脊髓圆锥不能随生

长发育或体位改变而向头端移动,进而导致一系列神经功能损伤的综合征,常继发于脊髓脊膜膨出、脊髓末端脂肪瘤、脊柱畸形、终丝粗短等病理改变^[1,2]。有学者以胚胎学分型将TSCs分为:原肠胚形成时中轴整合障碍(脊髓分裂畸形、混合脊柱裂、神经管原肠囊肿和部分脊髓脊膜突出等);局限性神经胚形成障碍(脊髓脊膜突出和无脑畸形);外胚层分离不良(脑脊膜脂肪突出);外胚层分离不全(皮肤窦道和假性脑脊膜突出等);尾细胞或二次神经胚形成失调(终丝脂肪瘤和脊髓脊膜突出等);神经胚形成后失调(脑膨出和Chiari II型畸形)^[2]。其中外胚层分离不良中伴有脂肪瘤型脊髓栓系因其手术难度大,术后常容易发生粘连等并发症而引起广泛关注。

目前,对于TSCs最有效的治疗方法是手术松解栓系并有效扩大硬膜囊。而在大多数脂肪瘤型脊髓栓系病例中,术中常规依靠显微镜来鉴别脊髓与脂肪瘤界面,由于脂肪瘤与脊髓神经根相互浸润,没有明确界限,手术分离非常困难,要明确失活的神经根更为艰难;对于单纯终丝脂肪瘤型脊髓栓系病例,手术过程中如何能更准确地鉴别终丝和神经根减少损伤显得尤为重要;通常我们在显微镜下解剖鉴别脂肪化终丝会存在一定误差,另外在松解各种栓系的过程中一定量的脊髓牵拉是不可避免的,因此如何来评估牵拉的严重程度是我们临床工作中面临的巨大挑战。目前,有研究发现术中神经电生理监测可以通过实时监测脊髓及神经根功能完整性来有效地保护神经组织,避免术后出现神经功能损害^[3-6]。

脊髓直径/硬脊膜囊直径(CORD/SAC)是衡量术后发生粘连的重要指标^[7]。而对于脂肪瘤型脊髓栓系的病例,术后粘连是主要的且发生率较高的并发症之一,因此术中如何更彻底地切除脂肪瘤是降低(CORD/SAC)的重要步骤,而肌电图监测可以更准确地辨别脂肪瘤的边界,增加脂肪瘤的切除率,从而降低(CORD/SAC),减少术后粘连发生。

本研究收集2017年11月至2018年6月在苏州大学附属儿童医院神经外科确诊为TSCs并行栓系松解手术的61例患儿作为研究对象,回顾性分析术中肌电图监测结果,术后通过随访观察分析神经功能改善及加重情况,进一步分析脂肪瘤型脊髓栓系患儿手术前后(CORD/SAC)比值的变化情况。

材料与方法

一、临床资料

本组61例脊髓栓系并行栓系松解术的患儿中,男童33例,女童28例;年龄1个月至9岁,平均(21.6 ± 23.6)个月,术前均完善尿流动力学检查及膀胱残余尿量测定。临床表现无神经功能障碍者35例,有神经功能障碍者26例,其中大小便功能障碍者19例,肢体活动障碍11例。61例脊髓栓系患儿中脂肪瘤型33例(其中7例合并脊膜膨出);终丝脂肪瘤18例(其中5例为肛门闭锁术后发现,4例伴有潜毛窦);脊髓栓系术后再栓系者7例(1例为皮样囊肿复发);单纯脊膜膨出2例;皮样囊肿1例。

二、麻醉方法

采用全身麻醉,麻醉诱导用丙泊酚 $2 \sim 3$ mg/kg、芬太尼 $2 \sim 4$ μ g/kg和非去极化肌松剂(顺式苯磺酸阿曲库铵 0.1 mg/kg或罗库溴铵 $0.6 \sim 1$ mg/kg)。麻醉维持使用静脉全麻,即丙泊酚 $100 \sim 160$ μ g/kg/min,辅以瑞芬太尼 0.2 μ g \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹持续静脉泵入,维持阶段不使用肌松剂。收缩压维持在 $60 \sim 100$ mm Hg。室温维持在 $23^{\circ}\text{C} \sim 24^{\circ}\text{C}$ 。

三、手术方法

采用俯卧头低体位,腰骶部取后正中或横行切口。向上暴露至栓系节段上方正常截面,寻找正常头端硬膜囊,显微剪刀剪开硬膜囊并使用普利林缝线悬吊硬膜,神经电生理监测下按栓系分型显微镜下解除栓系,松解栓系后使用不可吸收硬膜采用垂直间断褥式缝合扩大重建硬膜囊。

四、术中神经电生理监测

麻醉成功后,取俯卧位,使用美国CADWELL 16导术中神经电生理监测仪,监测项目为术中肌电图、诱发肌电图、体感诱发电位和运动诱发电位。肌电图和诱发肌电图监测需将电极分别置于双侧股四头肌、胫骨前肌、腓肠肌以及双侧肛门括约肌。肌电图增益为 500 uV/div,带通滤波范围为 $30 \sim 2\,000$ Hz,时基(time base) 100 ms/div。神经电刺激使用叉状双极刺激器,刺激间期 200 μ s,刺激频率 4.79 Hz,恒流刺激强度 $0.1 \sim 5$ mA,时基(time base)为 10 ms/div。体感诱发电位监测双侧胫后神经,刺激电极置于双侧踝内侧,记录电极置于Cz,参考电极置于Fz,带通滤波范围为 $30 \sim 500$ Hz,增益为 20 uV/div,分析时间为 100 ms。刺激电极参数为:恒流刺激强度 $20 \sim 40$ mA,刺激间期为 200 μ s,刺激频率为

2.79 Hz,重复频率为 200~300 次。运动诱发电位:刺激部位为 C3、C4(阳性为刺激极),刺激为 100~300 V,刺激间歇时间为 0.1 ms,刺激间期为 0.1 ms,串刺激次数 5~7 次。记录电极位于大小鱼际肌和拇展肌,带通滤波范围为 30~1 500 Hz。

五、测量术前及术后(CORD/SAC)

对于脂肪瘤型脊髓栓系患儿,使用苏州大学附属儿童医院影像科系统软件分别测量术前术后同一层面轴位磁共振 T1 像脊髓直径及硬脊膜囊直径,分别测量 3 次,取平均值。

六、随访

术后 2 周内行脑部 MRI 磁共振检查,评估脂肪瘤的病变切除情况。术后 3 个月再次复查脑部 MRI,了解脊髓神经根再粘连情况,并行尿动力检查评估膀胱功能,门诊随访神经功能恢复情况,对脂肪瘤型脊髓栓系测定术前及术后脊髓直径/硬脊膜囊直径(CORD/SAC)。

七、统计学处理

采用 SPSS18.0 统计软件对本文数据进行统计学分析。对于计数资料采用频数分析;对于手术前后 CORD/SAC 等计量资料采用均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,两组间比较采用配对样本 t 检验。以 $\alpha = 0.05$ 为检验水准, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

61 例患儿均在神经电生理监测下完全松解栓系,且记录肌电图及诱发电位。肌电图监测下均辨别出 L5、S1、S2 神经根。术中肌电图监测可以及时提示术者避免发生持续性过度牵拉肌电反应(图 1)。使用叉状双极探头探查粘连部位与神经根关联情况,辨别各神经根走向,明确 S2 位置。对于 11 例肢体功能障碍患者同时记录体感诱发电位及运

动诱发电位。

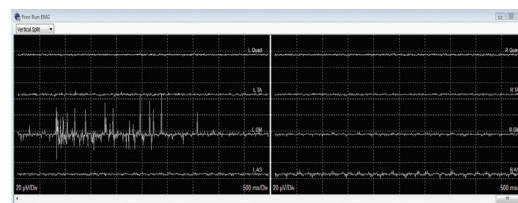


图 1 术中牵拉引起的肌电反应

Fig. 1 Myoelectric response to intraoperative traction

61 例患儿随访 3~11 个月,平均随访 6.2 个月。35 例术前无明显神经症状患儿在术后及随访期间无神经功能障碍,26 例出现神经功能障碍患儿中,有 1 例患儿术后出现尿储留,经导尿 14 d 后恢复至术前水平。随访期间,19 例术前大小便功能异常患儿中有 5 例患儿改善,11 例术前肢体功能障碍患儿中有 9 例患儿改善,具体见表 1、表 2。

表 1 61 例 TSCs 患儿术后随访结果

Table 1 Postoperative follow-up outcomes of 61 children with TCS

组别	例数	术后症状无改变或好转	术后症状短暂恶化
术前无神经功能障碍者	35	35(100.00)	0(0.00)
术前神经功能障碍者	26	25(92.15)	1(3.85)

表 2 术前神经功能障碍的 TSCs 患儿术后随访结果

Table 2 Postoperative follow-up outcomes of 30 children with symptomatic TCS

组别	例数	术后随访症状加重	术后随访症状改善	术后随访症状无改善
术前大小便功能障碍	19	0(0.00)	5(26.32)	14(73.68)
术前肢体功能障碍	11	0(0.00)	9(81.82)	2(18.18)

33 例脂肪瘤型脊髓栓系患儿术前及术后脊髓直径/硬脊膜囊直径(CORD/SAC)分别为(0.78 ± 0.03)和(0.41 ± 0.02),术后患儿 CORD/SAC 较术前明显减小,差异具有统计学意义($t = 12.78, P < 0.001$),具体见图 2、图 3。

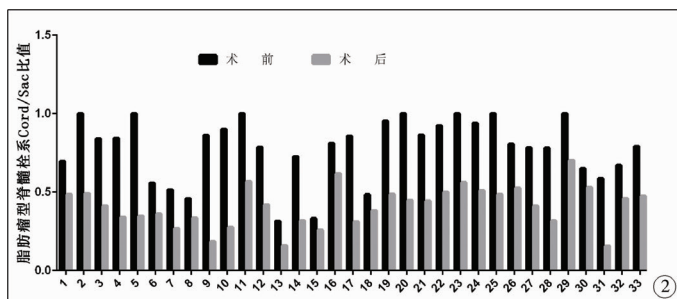


图 2 33 例脂肪瘤型脊髓栓系患儿手术前后 CORD/SAC 注 * * $t = 12.78, P < 0.001$

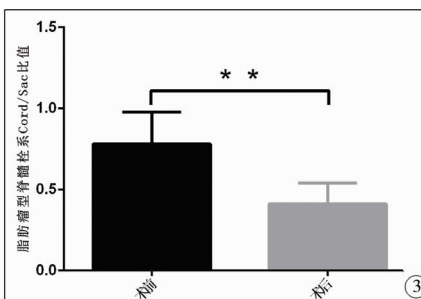


图 3 33 例脂肪瘤型脊髓栓系患儿手术前后 CORD/SAC 平均值

Fig. 2 CORD/SAC ratio in 33 children with lipomatous TCS before and after operation Fig. 3 Average CORD/SAC ratio in 33 children with lipomatous TCS before and after operation * * $t = 12.78, P < 0.001$

讨 论

迄今为止,显微外科手术是 TSCs 患儿唯一确切有效的治疗措施。目前,对于这类患儿主张尽早采取手术治疗,彻底解除造成脊髓、脊神经栓系的一切病理因素^[8]。而最新的手术理念是在追求完全松解栓系、减少术后粘连复发的同时保护神经功能,而术中肌电图监测可以有效保护神经功能。

一、术中肌电图监测能辨别 TSC 患儿的神经根

本研究发现 TSCs 患儿术中通过肌电图监测能有效辨别出 L5、S1、S2 神经根。我们术中诱发肌电时使用叉状电极刺激各神经根后粘连部位,采用 0.1~5 mA 的电流刺激,可起到定性及定位作用,当使用 1 mA 电流刺激可诱发出肌电时表明此处为正常神经根,同时根据其解剖位置及肌电图提示具体为 L5、S1、S2 神经根。如刺激电流 > 5 mA 仍无法诱发出肌电反应认为此组织为粘连或者失活神经,可进行松解,避免误伤神经。

在进行肌电图监测前,我们需检测导联电阻在正常范围内,监测开始后需先观测各导联肌电基线情况,如遇干扰需及时解除,最常见为术者或助手意外压迫某部位引起持续肌电反应,需告知其解除局部压迫。术中监测要求电生理医生持续关注手术步骤及监测情况,如出现持续性肌电反应并排除其它因素后需立即提示医生减少牵拉,放松牵拉后肌电图可恢复到正常基线水平。

国内外关于术中监测 TSCs 患儿肌电图的研究较多,而关于寻找脊髓神经根走形的研究较少,在听神经瘤手术的术中神经电生理监测中往往使用面肌肌电图监测来判定面神经走形。脊髓栓系的患儿脊髓神经根的解剖结构上有诸多变异,并不能从解剖上明确具体分布。肌电图监测可以让医生从功能上辨别神经根走形,从胚胎学分析栓系形成原因,对栓系松解手术提出指导意见。

二、术中肌电图监测可以有效保护神经功能

本组 61 例患儿术中均证实为完全松解栓系,1 例复杂脂肪瘤型脊髓栓系患儿术后小便障碍症状加重,经随访发现术后 14 d 恢复至术前水平,此患儿在术中多次提示肛门外括约肌自由肌电牵拉反应,但患儿脂肪瘤复杂,为完全松解栓系,采用短暂牵拉后解除牵拉,待肌电恢复后再次牵拉来松解栓系的方式最终完全松解。

本组 19 例术前出现大小便功能障碍的患儿,术

后 3 个月监测其排便情况、尿流动力学发现 5 例症状有改善,14 例无变化,无加重病例。11 例术前出现下肢神经功能障碍的患儿,术后 9 例肌力恢复、感觉障碍改善、神经源性马蹄足好转,2 例(二次手术病例)无改善,无加重病例。进一步分析术后排便功能障碍恢复率低的原因,可能与此类患儿存在膀胱直肠扩张、膀胱瘢痕、甚至膀胱输尿管反流有关,即便完全松解栓系,膀胱直肠功能也恢复不佳,甚至有加重的风险。

对于肌电图波形变化的监测在脊髓栓系中的报道较少,在听神经瘤切除手术中,有作者将术中面神经自发肌电图分为爆发式肌电图、连串式肌电图和脉冲式肌电图,并认为爆发式和脉冲式肌电图只需其相应刺激强度达到阈值便可诱发,故爆发式和脉冲式肌电图的出现并不能代表面神经受损^[10]。但若直接刺激面神经,爆发式肌电图未出现或减少,可提示面神经的损伤,而连串式肌电图的出现可能提示术后面神经功能受影响。因颅神经和脊神经在发生学上的一致性,我们将连串式、爆发式或持续式肌电反应也应用到脊髓栓系手术监测当中。

在栓系松解手术中,对于脊髓神经根的牵拉不可避免,而长时间、过度牵拉可能损伤神经,如何衡量牵拉的程度,采用肌电图的连串式、爆发式或持续式肌电反应来提示术中是否存在神经牵拉或者受损是可行的,对于术中出现连串式肌电反应需立即报告主刀医生,采用减轻牵拉,温生理盐水冲洗等办法消除;而对于术中出现爆发式或持续式肌电反应提示我们需密切关注。

本研究随访中无神经功能障碍加重的病例,这体现了神经电生理监测在脊髓栓系手术中的重要作用,它可以有效提示手术部位对神经的影响,明确手术部位的神经控制区域;对于不可避免的牵拉可以从时间及频次上减少累积效应,在保护神经的前提下完全松解栓系。

三、术中肌电图监测能改善脂肪瘤型脊髓栓系患儿的 CORD/SAC

2013 年, Dachling 等^[7]提出的 CORD/SAC 将目前脊髓栓系的手术技巧推上了更高的平台, CORD 即术后硬膜囊内脊髓的前后径, SAC 指重建硬膜囊的前后径。在所有栓系患儿中终丝脂肪瘤被认为是预后较好的一类,因为其天生具有非常低的 CORD 值^[9]。本组中 18 例为终丝脂肪瘤,术中使用诱发肌电刺激对可疑终丝刺激,无肌电反应可确认

为终丝,避免误伤神经。

对于脂肪瘤型脊髓栓系患儿,要求在不影响神经功能的前提下更多切除脂肪瘤,减低 CORD 值,而术中肌电图可以有效地鉴别粘连及神经根,恰到好处地切除脂肪瘤,寻找脂肪瘤和神经板的界面。对于增加 SAC 值,我们通过重建硬膜囊来减少粘连,采用不可吸收人工硬膜垂直褥式间断缝合修补来减少术后粘连及脑脊液漏等并发症的发生。本组病例术后未发生脑脊液漏及感染,3 例患儿术后有少量皮下积液,随访 1 个月后均已吸收。在连续随访过程中发现随着术后时间延长,硬膜外积液逐步减少,硬膜囊进一步扩大,即 CORD/SAC 进一步减少,栓系复发粘连可能性进一步降低。

随着显微神经外科的不断发展,脊髓栓系疾病的预后已发生了显著变化,但如何完全松解脊髓栓系、减少术后粘连和避免术中神经损伤一直以来是我们追求的方向。术中肌电图监测可以使神经外科医生辨别各神经根,有效保护神经功能,在脂肪瘤型脊髓栓系患儿手术中可最大程度切除脂肪瘤,有效降低 CORD/SAC 值,减少术后粘连。

参考文献

- 1 Lew SM, Kothbauer KF. Tethered cord syndrome: an updated review[J]. *Pediatric Neurosurgery*, 2007, 43(3): 236-248. DOI: 10.1159/000098836.
- 2 Yamada S, Colohan AR, Won DJ. Tethered cord syndrome[J]. *Neurosurgery Spine*, 2009, 10(1): 79-80. DOI: 10.3171/2008.10.SPI15714L.
- 3 Husain AM, Shah D. Prognostic value of neurophysiologic intraoperative monitoring in tethered cord syndrome surgery[J]. *J Clin Neurophysiol*, 2009, 26(2): 244-247. DOI: 10.1097/WNP.0b013e3181b2edae.
- 4 Khealani B, Husain AM. Neurophysiologic intraoperative monitoring during surgery for tethered cord syndrome[J]. *J Clin Neurophysiol*, 2009, 26(1): 76-81. DOI: 10.1097/WNP.0b013e31819f9067.
- 5 Jabri H. Tethered cord syndrome[J]. *Neurosciences*, 2016, 21(2): 177-178.
- 6 荆俊杰, 赵清爽, 王守森, 等. 术中神经电生理监测下显微手术治疗儿童脊髓栓系综合征 27 例[J]. *中华临床医师杂志: 电子版*, 2013, 7(21): 9553-9556. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-0785.2013.21.037.
- Jing JJ, Zhao QS, Wang SS, et al. Intraoperative electrophysiological monitoring guided microsurgery on spinal cord syndrome of children: a report of 27 cases[J]. *Chin J Clinicians (Electronic Edition)*, 2013, 7(21): 9553-9556. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674-0785.2013.21.037.
- 7 Pang D, Zovickian J, Wong ST, et al. Surgical treatment of complex spinal cord lipomas[J]. *Children Nerv Syst*, 2013, 29(9): 1485-1513. DOI: 10.1007/s00381-013-2187-4.
- 8 Adzick NS, Thom EA, Spong CY, et al. A randomized trial of prenatal versus postnatal repair of myelomeningocele[J]. *N Engl J Med*, 2011, 364(11): 993-1004. DOI: 10.1056/NEJMoa1014379.
- 9 Solmaz I, Izci Y, Albayrak B, et al. Tethered cord syndrome in childhood: special emphasis on the surgical technique and review of the literature with our experience[J]. *Turk Neurosurg*, 2011, 21(4): 516-521. DOI: 10.5137/1019-5149.JTN.4394-11.1.
- 10 Prass PL, Luder H. Acoustic facial electromyographic monitoring: Part I. Evoked electromyographic activity during acoustic neuroma resection[J]. *Neurosurgery*, 1986, 19: 392.

(收稿日期: 2018-07-11)

本文引用格式: 王勇强, 陈民, 王杭州. 肌电图监测在儿童脊髓栓系松解术中的应用[J]. *临床小儿外科杂志*, 2018, 17(12): 922-926. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6353.2018.12.010.

Citing this article as: Wang YQ, Chen M, Wang HZ. Application of electromyogram monitoring during spinal cord loosening for tethered cord syndrome in children. [J]. *J Clin Ped Sur*, 2018, 17(12): 922-926. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6353.2018.12.010.